

DIGITAL PRIMER FOR TEACHING SPATIAL RETICULAR STRUCTURES IN CIVIL ENGINEERING

Wilson Enrique Torres Sánchez¹; Mary Elen Niño Molina²; Hilen Camila Bonilla Gómez³

^{1,3}Universidad la Gran Colombia, Colombia, wilson.torres@ugc.edu.co, hbonillag@ulagrancolombia.edu.co

²Universidad la Gran Colombia, Colombia, mary.nino@ugc.edu.co

Resumen— *Este trabajo presenta una propuesta pedagógica para la enseñanza de sistemas reticulares espaciales a estudiantes de Ingeniería Civil, mediante una cartilla digital interactiva en inglés técnico. La estrategia combina el uso de las metodologías inglés para propósitos específicos (ESP) y aprendizaje basado en proyectos (ABP), con recursos multimedia y navegación intuitiva, promoviendo el aprendizaje de conceptos estructurales, geometría espacial y vocabulario especializado. La intervención se desarrollará como un estudio de caso con un grupo de estudiantes de la Universidad La Gran Colombia, a través de una única sesión estructurada en teoría, ejercicios interactivos, glosario, video y foro. Se aplicará una prueba final de evaluación del conocimiento y se recogerá retroalimentación para ajustar la propuesta antes de su implementación completa. Esta experiencia busca mejorar la comprensión técnica del inglés y aportar una metodología replicable para la Ingeniería Civil y otras áreas disciplinares.*

Palabras clave— *Sistemas Reticulares Espaciales, Metodología ESP, Metodología ABP, Ingeniería Civil.*

Abstract— *This paper presents a pedagogical proposal for teaching spatial grid systems to Civil Engineering students through an interactive digital primer in technical English. The strategy combines English for Specific Purposes (ESP) and project-based learning (PBL) methodologies with multimedia resources and intuitive navigation, promoting the learning of structural concepts, spatial geometry, and specialized vocabulary. The intervention will be developed as a case study with a group of students from La Gran Colombia University, through a single session structured around theory, interactive exercises, a glossary, video, and a forum. A final knowledge assessment test will be administered, and feedback will be collected to adjust the proposal before its full implementation. This experience seeks to improve technical understanding of English and provide a replicable methodology for Civil Engineering and other disciplines.*

Keywords-- *Spatial Reticular Systems, ESP Methodology, PBL Methodology, Civil Engineering.*

I. INTRODUCCIÓN

En la formación universitaria de Ingeniería Civil, la enseñanza de conceptos estructurales complejos como los reticulados espaciales continúa presentando desafíos significativos debido a su naturaleza abstracta y geométricamente sofisticada. Aunque estas estructuras son reconocidas por su eficiencia, ligereza y adaptabilidad en aplicaciones como cubiertas o pabellones, su comprensión profunda por parte de los estudiantes es limitada, en gran

parte, debido a la predominancia de metodologías de enseñanza expositivas y poco interactivas [16]. Este problema se intensifica al introducir conceptos avanzados como la geometría del tetraedro, las configuraciones modulares o la aplicación de materiales sostenibles como el bambú Chusquea Carrizo en contextos reales o experimentales. La dificultad de visualizar y manipular modelos espaciales tridimensionales impide el desarrollo de habilidades aplicables esenciales en los futuros ingenieros, y frena el potencial creativo necesario para proyectar soluciones estructurales innovadoras y sostenibles. Además, el escaso uso de herramientas digitales modernas, tales como la simulación interactiva o el modelado 3D paramétrico, limita la capacidad de los estudiantes para experimentar con distintas configuraciones estructurales, explorar escenarios constructivos diversos y comprender las implicaciones de cada decisión de diseño ([10]; [20]).

Esta problemática plantea la necesidad urgente de renovar las metodologías educativas en ingeniería civil, particularmente en los sistemas estructurales, desarrollando recursos digitales especializados que respondan a las exigencias formativas contemporáneas y que promuevan una comprensión activa, aplicada y contextualizada [15].

De acuerdo con lo anterior, se plantea la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo diseñar una estrategia metodológica digital e interactiva en inglés que permita a estudiantes de Ingeniería Civil dominar los sistemas reticulares espaciales, integrando modelado 3D y contenido pedagógico sobre sostenibilidad estructural y geometría espacial?

II. ANTECEDENTES

A. Marco Histórico

El desarrollo de estructuras basadas en reticulados espaciales ha evolucionado considerablemente desde su concepción inicial, adaptándose a diferentes necesidades arquitectónicas y contextos. Este estudio se centra en la aplicación de estos sistemas en el diseño de prototipos geométricos utilizando bambú Chusquea Carrizo para ferias itinerantes en espacios públicos, un enfoque que no solo busca aprovechar las ventajas estructurales y estéticas de los

reticulados espaciales, sino también promover el uso de materiales sostenibles y técnicas de construcción innovadoras.

B. Evolución Histórica de los Sistemas Reticulados

Desde la Antigüedad, la idea de emplear reticulados para cubrir espacios comenzó con [12], quien diseñó un reticulado triangular para un puente. Durante la Edad Media y hasta el siglo XIX, se utilizaron cerchas planas de madera en iglesias, depósitos y estaciones de ferrocarril, hasta que el hierro sustituyó a la madera por su ligereza y posibilidad de fabricación serial [4]. En 1851, John Paxton construyó el Palacio de Cristal en Londres, un sistema autónomo de hierro forjado y cristal; poco después, en 1863, J. W. Schwedler diseñó la primera cúpula reticulada de 40 m de luz en Berlín. La invención del acero a bajo coste por Henry Bessemer en 1856 impulsó la adopción de cerchas y arcos triangulados, como el de William Barlow en la estación de St. Pancras (1868) y, en 1881, Charles Stroebel estandarizó perfiles de acero y conexiones robustas. En 1889, la Galería de las Máquinas en París presentó un reticulado de dos aguas con 114 m de luz, y ese mismo año Gustave Eiffel completó la Torre Eiffel con estructuras intermitentes. Hacia 1890, el Puente Ferroviario Forth incorporó tres tramos centrales reticulados.

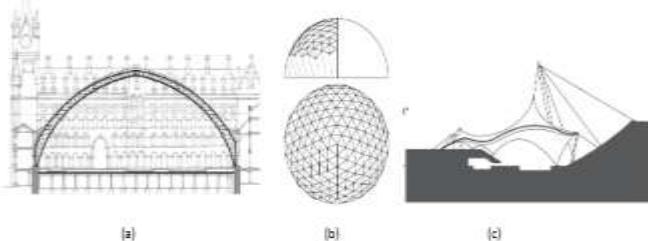


Figura 1 (a) William Barlow, estación de St. Pancras, Londres, Reino Unido; (b) Walter Bauerfeld, planetario, Jena, Alemania; (c) Frei Otto, piscina olímpica, Múnich, Alemania

En 1903, Alexander Graham Bell experimentó con geometrías tetraédricas y octaédricas, sentando las bases de las mallas espaciales de Buckminster Fuller, Max Mengeringhausen y Konrad Wachsmann; Fuller demostró que “los sistemas triangulados simétricos suministran el flujo más económico de energía” [13] y construyó domos geodésicos de plástico reforzado y fibra de vidrio para la Fuerza Aérea de EE UU. Estos domos—como la cúpula de la Union Tank Car Co de 116 m de diámetro y 1 200 t de peso—resultaron mucho más ligeros que cúpulas tradicionales de piedra [13]. En 1922, Walter Bauersfeld aplicó la cúpula geodésica en el planetario de Jena, Alemania. A partir de entonces, y con el apoyo de programas de cálculo para estructuras hiperestáticas, los reticulados espaciales se consolidaron en edificaciones de gran escala, mostrando una progresión continua en sus configuraciones geométricas y su empleo en cubiertas de luces extensas.

III. MARCO TEÓRICO

Esta investigación se estructurará como un recorrido por los principales ejes que dan soporte a la propuesta pedagógica y tecnológica. En primer lugar, se abordarán las **estructuras reticuladas espaciales**, explicando sus principios geométricos, su comportamiento estructural, y su aplicación en ingeniería civil, con énfasis en materiales sostenibles como el bambú. En segundo lugar, se incluirán los fundamentos del **aprendizaje por competencias** y la **didáctica del conocimiento técnico**, enfocándose en cómo se enseña y aprende la geometría aplicada desde experiencias interactivas y casos reales.

A. Exploración de las geometrías mínimas.

Las geometrías mínimas, o superficies mínimas, son configuraciones geométricas que reducen al máximo el área de una superficie bajo condiciones de borde determinadas. En reticulados espaciales, estas geometrías optimizan la eficiencia estructural y reducen el consumo de material, cualidad esencial en estructuras temporales y sostenibles.

Una técnica clásica de exploración emplea películas de jabón, cuyas superficies adoptan automáticamente la forma de área mínima al interconectarse en marcos de alambre. Al crear un módulo y repetirlo periódicamente, las películas revelan las aristas y nodos de la malla que minimizan el área total, mostrando por ejemplo cómo tres láminas se unen en ángulo de 120° y cuatro aristas convergen en 109° 28' 16" en cada punto de encuentro de superficies [17]. Este experimento ilustra físicamente que la tensión superficial sigue el camino de menor energía, equivalente en reticulados a la configuración más eficiente y estable.

B. Teorías geométricas

La exploración de las geometrías mínimas en reticulados espaciales involucra tanto un enfoque teórico como práctico. Desde el punto de vista teórico, es fundamental comprender las propiedades matemáticas de las superficies mínimas y cómo pueden aplicarse a la arquitectura. Esto incluye el estudio de superficies como la helicoide, la catenoide y el paraboloide hiperbólico, todas las cuales son ejemplos de superficies mínimas que pueden ser utilizadas en el diseño de reticulados espaciales [18].

Desde una perspectiva práctica, la implementación de geometrías mínimas en reticulados espaciales requiere la utilización de tecnologías avanzadas de diseño asistido por computadora (CAD) y modelado paramétrico. Estas herramientas permiten a los arquitectos y diseñadores explorar una amplia gama de configuraciones geométricas y evaluar su rendimiento estructural antes de la construcción [10]. La capacidad de modelar y simular diferentes configuraciones geométricas en un entorno virtual permite optimizar el diseño para cumplir con requisitos específicos de carga, peso y estética.

Rigiéndose la teoría mediante leyes científicas, como son las de Plateau que expresa que tres superficies de jabón se intersectan a lo largo de una línea y estas son creadas por tres intersecciones de superficies, la regla de Schwartz dice que las superficies generan una arista como principio de camino rápido orientada en la ruta de interconexión de varios puntos en una sola red [17].

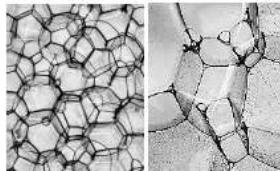


Figura 2 Detalle de caminos rápidos en películas de jabón recorridos míninos para unir vértices de un polígono

En la experimentación de Plateau dice que los segmentos se unen por películas por ángulos de 120 grados cuando las láminas se cortan al largo de una línea, se pueden también ver cuatro lámina que se cortan en un punto y generan entre ellas 109 grados.

Componiendo un tipo de propiedades físicas donde hay energía potencial, se ejerce un trabajo de tensión de superficies, que muestra existencias de fuerza de presión que tienden a una curvatura natural siendo esta la recolección de estudios geométricos de la estructura para la posterior aplicación en el campo del diseño.

La principal aplicación de las teorías matemática para llevarlas a las estructuras no convencionales, son las edificaciones de Frei Otto que busca como principal factor en su composición la solución de cubrir grandes superficies a partir de estructura ligeras, especializándose en el estudio de la naturaleza con sus principales hipótesis que se da a la solución de la exploración máxima de las propiedades y comportamientos de los materiales como recurso de transición de cargas a elementos a trabajo de compresión y tracción.

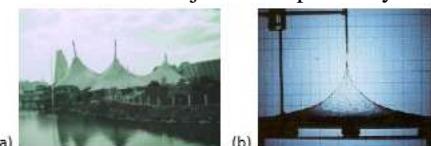


Figura 3 (a) Fotografía de pabellón (b) Experimento de película de jabón por medio de hilos

En la ilustración se ve el trabajo de la solución que realiza Otto con las superficies de área mínima, generando una gran cubierta que cuenta con un poste que lleva todo el sistema estructural que genera tensión en las envolventes textiles, que la estructura se genera a partir de modelos basados en las películas de jabón que se componen por la proyección de películas en hilos cerrados.

C. Aplicación de Geometrías Mínimas en Reticulados Espaciales

Los reticulados espaciales son armaduras tridimensionales formadas por barras y nodos que generan figuras como

tetraedros, octaedros y pirámides, aprovechando los principios de los sólidos platónicos para optimizar la rigidez y minimizar la flexión interna ([6]; [7]). Al concentrar las uniones en puntos de mínima área, se reduce la cantidad de material necesario sin comprometer la resistencia, logrando estructuras hiperestáticas que cumplen altos requisitos de estabilidad y durabilidad [21].

La triangulación es clave: cada triángulo, al ser indeformable, actúa como elemento estable que distribuye uniformemente las cargas hacia los vértices, equilibrando momentos de torsión y convirtiéndolos en esfuerzos axiales[3]. En módulos con arcos trapeziales o semicirculares, los estribos canalizan los esfuerzos de compresión hacia los apoyos, mientras que la curvatura induce tensión que elimina la necesidad de soportes adicionales [6].

Estos sistemas se examinan como redes interconectadas donde la ley de Föppl describe la estabilidad geométrica de armaduras espaciales, confirmando que los sólidos platónicos sólo son estables si sus caras están trianguladas [14]. En este esquema, las barras —conectores de carga— trabajan exclusivamente a compresión y tracción, siendo sus conexiones nodales críticas para evitar pandeo y garantizar la transmisión axial de esfuerzos [7].

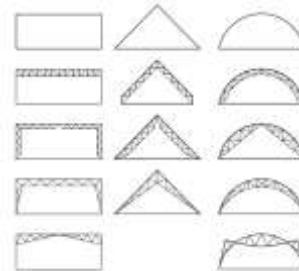


Figura 4 Gran variedad de perfiles

Para el posterior desarrollo, se tiene que tener en cuenta la consideración del lugar donde se construya y generar unas condiciones básicas, el viento tiene que ser suave, el terreno contendrá un nivel uniforme y estable proveyendo puntos básicos en los cuales se fortalecerá para el correcto desarrollo de la retículas, dando fundamentos de construcción que evalúan la propiedad de la estructura como la estética armónica, con ayuda de la firmeza asegurando los apoyos dando estabilidad y funcionalidad al cumplir su objetivo planeado.

Según la ocupación de los reticulados tienen que cumplir especificaciones con las barras y nodos articulados, que parten de la modulación que hace referencia al establecimiento de una reducción de números de elementos que genera el conjunto por acumulación, la rigidez es la estabilidad geométrica que conforma la geometría esta hace que la estructura sea capaz de resistir su propia peso, las cargas aplicadas y la forma precisada formal mediante la constancia de las dimensiones que se pueden variar en los desmontables de los módulos [14].

El fundamento de diseño tridimensional es un lenguaje visible siendo un pensamiento sistemático del espacio. Los elementos conceptuales no son visibles a la determinación principal, como se puede ver la agrupación de líneas que forma el tetraedro, los elementos visuales son esas configuraciones de líneas que forma un triángulo bidimensional que al ármalo forma la una pirámide con base triangular, desarrollado por los cuatro triángulos principales del elemento visible, los elementos de relaciones determina la dirección de cómo la geometría se comporta con otros tetraedro cercano y la relación de espacio del tetraedro de la configuración del reticulado y como último elemento son las prácticas de llegar al alcance de la geometría con base de la representación derivada de la naturaleza [21].

D. Clasificación de sistemas reticulares

Los sistemas reticulares pueden clasificarse según su configuración geométrica, material utilizado y método de ensamblaje. Los tipos más comunes incluyen reticulados planos, reticulados curvos y cúpulas geodésicas. Cada tipo de reticulado ofrece ventajas específicas en términos de resistencia, estabilidad y estética, lo que permite su uso en una amplia gama de aplicaciones arquitectónicas [6].

Los sistemas estructurales que utilizan barras conectadas con nodos se conocen como reticulados espaciales. Se pueden fabricar estos sistemas utilizando materiales metálicos o fibras naturales como la madera y el bambú, basándose en la triangulación de las barras para formar redes espaciales con figuras geométricas. Los elementos tienen la capacidad de funcionar tanto bajo compresión como tracción, y las conexiones articuladas disminuyen los esfuerzos debido a la flexión. Aunque los sistemas de reticulados espaciales son eficientes para la transmisión de fuerzas y resisten cargas concentradas, tienen un nivel elevado de hiperestaticidad que demanda el uso de programas informáticos para su cálculo estructural.



Figura 5 Clasificación de los sistemas reticulados espaciales.

E. Comportamientos estructurales

El comportamiento estructural de los reticulados espaciales depende de la geometría utilizada y del material con el que se construyen. En general, las geometrías mínimas permiten una distribución uniforme de las cargas a lo largo de la estructura, reduciendo los puntos de tensión y aumentando la estabilidad. El uso de bambú Chusquea Carrizo, con su alta resistencia a la tracción y flexión, proporciona una solución efectiva para crear estructuras ligeras y resistentes, ideales para aplicaciones temporales y móviles [9].

Para verificar el correcto funcionamiento de una estructura reticular espacial, es crucial conocer las secciones necesarias de las barras, los esfuerzos que deben soportar y los desplazamientos de la red. Históricamente se utilizaron métodos manuales como Ritter, Cremona y el análisis por nudos para cerchas isostáticas, pero su aplicación en sistemas hiperestáticos es limitada [2]. Hoy en día, los programas de elementos finitos son la herramienta de elección, modelando la estructura como un conjunto de elementos unidos en nudos y calculando los desplazamientos nodales para estimar deformaciones y esfuerzos internos [22].

F. Tipos de apoyos

Los apoyos transfieren las cargas de la estructura al suelo y se clasifican según sus grados de libertad de la siguiente manera [4]; [6]:

Apoyo de primer grado: permite desplazamientos horizontales y rotaciones, pero restringe el movimiento vertical.

Apoyo de segundo grado: permite solo rotaciones, mientras bloquea desplazamientos horizontales y verticales.

Apoyo de tercer grado: fija la posición completamente, impidiendo desplazamientos y rotaciones en todas las direcciones.

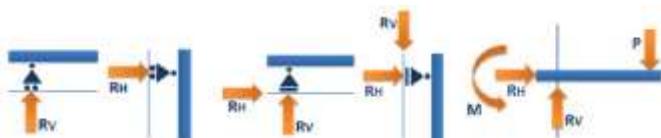


Figura 6 Tipología de apoyos

Las cargas presentes en las estructuras generan fuerzas representadas como vectores con magnitud y dirección, aplicadas en puntos específicos llamados puntos de aplicación, que provocan reacciones en los soportes [1]. Estas cargas inducen además fuerzas internas de resistencia axiales, cortantes y de momento que generan deformaciones y esfuerzos en los elementos estructurales [8].

G. Fundamento de aplicación de los sistemas reticulados.

Los sistemas reticulares espaciales se comportan como sistemas de equilibrio donde las fuerzas internas, inclinadas y alineadas con la resistencia del material, se transmiten mediante barras y nudos que actúan como conexiones fijas o modulares, fusionando resistencia y disipación [1]. La

distribución de esfuerzos de tracción en las barras y la compresión en los nodos confiere ductilidad y comportamiento sismorresistente, al tiempo que minimiza la flexión y aprovecha el área mínima de las articulaciones ([5]; [6]). Al resolver los parámetros de sección y geometría mediante cálculo infinitesimal, es posible diseñar elementos ultraligeros, como cubiertas textiles tensionadas inspiradas en películas de jabón, que nacen rígidas en todos los planos [17].

Las ventajas de estos reticulados incluyen:

Estandarización productiva, gracias a la prefabricación modular de nodos y barras para una fabricación sistemática y económica [3].

Economía de materiales, pues la correcta distribución de cargas reduce el peso y el número de componentes [6].

Seguridad estructural, ya que las cargas concentradas se distribuyen de forma equilibrada sin inducir colapsos, y los materiales empleados cuentan con alta resistencia al fuego [8].

Desarrollo sismorresistente, producto de la hiperestaticidad que mejora la ductilidad y la capacidad de absorción de energía [5].

Eficiencia estática, al transmitir fuerzas axiales en múltiples direcciones para un comportamiento integral y estable [6].

Estética e integración, derivadas de la versatilidad compositiva que ofrece la triangulación espacial, enriqueciendo el lenguaje arquitectónico [22].

H. Desarrollos existentes de cubiertas de reticulares

Las cubiertas reticuladas han sido utilizadas en una variedad de proyectos arquitectónicos para cubrir grandes espacios sin soportes intermedios. Ejemplos notables incluyen el Estadio Olímpico de Múnich diseñado por Frei Otto y la Cúpula del Parlamento de Alemania, que utilizan principios de reticulados espaciales para lograr una estructura ligera y eficiente [11]. Estos ejemplos demuestran la versatilidad de los sistemas reticulados para aplicaciones en una amplia gama de contextos arquitectónicos, desde espacios públicos hasta instalaciones deportivas.

Dentro de los referentes nacionales podemos encontrar la cubierta modular itinerante, que nos induce a una exemplificación del prototipo de estructura para el arquetipo de construcciones removibles. Los factores que emplea son; el diseño de cubierta modular efímera configurable y transportable, su aplicación está planteado para espacios de ferias itinerantes, donde se realizan talleres y actividades culturales basadas en el arte, la música, el teatro, entre otros, para ser usado como si simulara un auditorio.

Su proceso de producción es rápido y fácil gracias a sus características físicas y mecánicas, igualmente lo es en la parte de transporte, ya que tiene un peso reducido y no ocupa tanto espacio, en el momento de armado y desmonte se agiliza esta acción. Este proyecto se hizo visible por la asociación Bienal Iberoamericana de Diseño (BID), donde los profesionales y/o diseñadores muestran y exponen en encuentros culturales el

desarrollo de sus diseños de itinerantes haciendo notorio el trabajo y la evolución de este con premios o menciones.



Figura 7 Cubierta modular, presentadas en el Concurso Idearte

Otro avance en los sistemas de estructuras flexibles que se pueden encontrar a nivel internacional es un prototipo de diseño de cubierta retráctil tensada planteado por Carlos Morales (2013) en México, donde expone una investigación sobre la geometría orgánica (natural) aplicado a la arquitectura, para la realización de un sistema plegable, flexible y adaptable en la naturaleza, de tal forma se encarga de enfatizar en las uniones y en el cómo se va a optimizar su fijación a los demás componentes. Comienza con la geometría fractal segmentada, para la creación de un cuerpo complejo y de varias figuras itinerantes de esta forma se plantea una malla reticular plegable en forma de arco, conformado por la figura X, estos se consolidan y forman triángulos. Morales (2013) toma como base las estructuras biónicas y la morfología geométrica para constituir una malla reticular plegable, del cual se desprende un arco, su manera itinerante forma espacios modulares con una fácil adaptación y montaje. También analiza el desarrollo en la elaboración de varios modelos geométricos tridimensionales conforme a la estructura biónica (natural) en forma de arcos, bóvedas, domos, cúpulas, etc.

La adecuación de modelos experimentales con métodos gráficos y digitales cumple un gran propósito para la creación de estructuras flexibles en su estandarización. Es frecuente encontrar estructuras reticuladas tridimensionales en cubiertas como principal sistema constructivo, donde se han venido generando desde 1950 por Le Ricolais quien tomó como ejemplo las estructuras de la naturaleza como base de diseño, para una implementación artificial pero bien asemejada, en consecuencia, se refleja la geometría en tamaño micro y macro en escala.

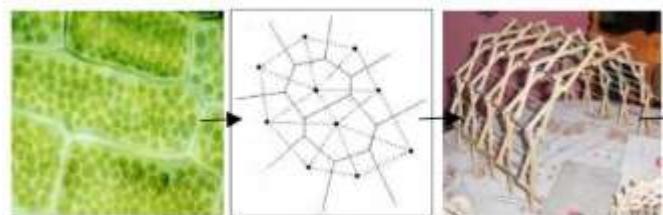


Figura 8 Adecuación orgánica estructura.

I. Materialidad de bambú

Las estructuras se destacan por su gran versatilidad y flexibilidad, pues permiten la creación de formas curvas y

espacios amplios abiertos sin requerir soportes interiores adicionales. También, el bambú es extremadamente resistente en comparación con su peso, lo que hace posible construir estructuras ligeras, pero a la vez muy fuertes. Además, su construcción es más simple en comparación con otras soluciones estructurales debido a la posibilidad de utilizar uniones prefabricadas y menos complejas. Esto se traduce en una reducción de los requerimientos de equipos, recursos y personal especializado. Además, el bambú es un material de construcción que se renueva rápidamente y tiene bajo impacto en el medio ambiente, por lo tanto, su utilización en estructuras reticulares también promueve la construcción sostenible. En resumen, las ventajas de utilizar estructuras reticulares de bambú en diversos proyectos arquitectónicos incluyen su versatilidad, resistencia, facilidad constructiva y sostenibilidad. Esto convierte al bambú en una solución estructural atractiva.

J. Especie chusquea

Chusquea carrizo, un tipo de bambú originario de América del Sur. El bambú leñoso del género Chusquea se destaca por crecer en matas densas y alcanzar alturas de hasta 10 metros. Además, sus hojas son largas y estrechas. Este animal se encuentra en los bosques nublados y húmedos de montaña en los Andes, ubicados a altitudes que oscilan entre 1,500 y 3,500 metros sobre el nivel del mar. Además de servir como fuente de alimento y refugio para diversas especies, la población local aprovecha los tallos de este Lamentablemente, la Chusquea carrizo se encuentra amenazada por la deforestación y el cambio climático, lo cual ha resultado en que varias de sus poblaciones estén en peligro. Es fundamental seguir investigando y preservando esta especie esencial de los Andes.

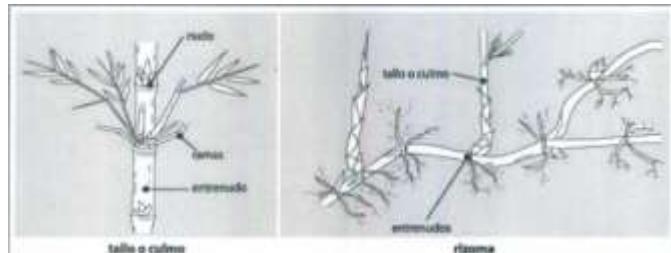


Figura 9 Morfología de Bambú

La chusquea carrizo se caracteriza por su crecimiento en matas densas, alcanzando alturas de hasta 10 metros. Además, sus tallos son huecos y posee hojas largas y estrechas como principales propiedades físicas. Respecto a las propiedades químicas, la ceniza de la chusquea carrizo presenta una composición rica en dióxido de silicio, óxido de calcio y óxido de potasio. Además, se encuentran presentes otros óxidos como hierro, azufre, fósforo, aluminio, magnes. Finalmente, en relación a las características mecánicas, se han evaluado su capacidad de resistir la compresión, flexión y tracción, lo cual la convierte en un material idóneo para ser utilizado tanto en

construcciones de viviendas como en artesanías por parte de las comunidades locales. En conclusión, la chusquea carrizo tiene propiedades físicas, químicas y mecánicas que la hacen una planta versátil y de gran importancia en los ecosistemas andinos.

K. Propiedades de Bambú Chusquea

El bambú Chusquea posee una serie de propiedades que lo hacen especialmente adecuado para su uso en sistemas estructurales:

Resistencia a la Tracción: El bambú Chusquea tiene una alta resistencia a la tracción, comparable a la del acero, lo que permite que sea utilizado en aplicaciones donde las cargas de tensión son significativas. Esto es esencial en sistemas reticulados, donde las barras a menudo están sometidas a tensiones que deben ser soportadas de manera efectiva.

Flexibilidad: Una de las propiedades más destacadas del bambú Chusquea es su flexibilidad, lo que le permite soportar deformaciones significativas sin romperse. Esta capacidad de flexionarse bajo carga lo convierte en un material ideal para estructuras que deben resistir cargas dinámicas, como vientos fuertes o terremotos.

Resistencia a la Compresión: El bambú Chusquea también posee una excelente resistencia a la compresión, lo que le permite soportar grandes cargas sin colapsar. Esta propiedad es crucial en estructuras donde las barras deben soportar cargas de compresión, como en columnas y soportes.

Ligereza: El bambú es un material ligero en comparación con otros materiales de construcción, lo que facilita su transporte y manipulación. Esta característica es particularmente beneficiosa en aplicaciones temporales o móviles, donde el peso de la estructura debe mantenerse al mínimo para facilitar el montaje y desmontaje.

Resistencia a la Humedad y Plagas: A pesar de su origen vegetal, el bambú Chusquea tiene una buena resistencia natural a la humedad y las plagas, especialmente si se somete a tratamientos adecuados. Esta resistencia aumenta su durabilidad y reduce la necesidad de mantenimiento frecuente.

VARIABLE	JARDÍN BOTÁNICO
Contenido de humedad (%)	4.19
Diametro (cm)	1.8
Dureza (Shore)	2.85
Densidad (g/cm³)	0.08
Resistencia a la compresión (Mpa)	6.04
Lignina acida (%)	3.5

Figura 10 Propiedades de Bambú Chasquea

L. Estrategias pedagógicas para la enseñanza de estructuras

En el ámbito educativo, la enseñanza de sistemas estructurales complejos (como los reticulados espaciales) enfrenta el reto de transmitir conceptos abstractos de forma comprensible y atractiva para los estudiantes. Las estrategias pedagógicas contemporáneas enfatizan enfoques activos e interactivos, alineados con la filosofía constructivista del aprendizaje. Según [16], los métodos de enseñanza que promueven el aprendizaje activo colocan al estudiante en el centro del proceso, convirtiéndolo en protagonista de su formación y al instructor en un guía.

Esto es especialmente relevante en ingeniería estructural y arquitectura, donde la simple transmisión teórica puede dejar lagunas en la comprensión espacial o en la intuición estructural del alumno. Para enseñar sobre reticulados espaciales y sus principios (geometría tetraédrica, comportamiento resistente, etc.), es eficaz incorporar actividades donde los estudiantes manipulen modelos físicos o digitales, exploren diferentes configuraciones y observen resultados en tiempo real.

Esta aproximación activa facilita que los alumnos construyan su propio conocimiento a partir de la experiencia, en lugar de solo memorizar fórmulas o casos. Por ejemplo, el uso de maquetas didácticas, simulaciones computacionales interactivas y experimentos de carga en clase son herramientas que refuerzan la conexión entre la teoría y la realidad física [16]. Asimismo, la adopción de Cartillas digitales permite implementar laboratorios virtuales donde los estudiantes pueden “probar y error” sus diseños estructurales de forma segura, visualizando deformaciones y esfuerzos al instante.

Estudios en educación ingenieril muestran que la integración de metodologías activas mejora la motivación y el desempeño de los estudiantes, al fomentar un aprendizaje más profundo y significativo [15]. En resumen, la enseñanza de estructuras se beneficia de estrategias pedagógicas que combinan la experimentación interactiva, el aprendizaje visual y la participación directa del estudiante, logrando una comprensión más sólida de conceptos como la estabilidad, la resistencia de materiales y la eficiencia geométrica.

M. Implementación práctica de estructuras didácticas experimentales

La convergencia de los elementos antes descritos – conocimientos teóricos, material sostenible, metodologías activas y herramientas digitales– encuentra su máxima expresión en la implementación práctica de estructuras didácticas experimentales. Esto implica llevar al terreno de la realidad un proyecto estructural concebido en el aula, ya sea a escala real o prototípica, para que los estudiantes vivencien el ciclo completo de diseño-construcción-evaluación.

La construcción de un prototipo de reticulado espacial (por ejemplo, un pequeño pabellón o módulo experimental en bambú) ofrece a los alumnos una oportunidad única de “aprender haciendo” (learning by doing) en un entorno controlado de aprendizaje. Durante este proceso, los

estudiantes aplican la teoría a decisiones prácticas: seleccionan y preparan el bambú (aprendiendo sobre tratamientos y variabilidad natural), fabrican o ensamblan las uniones diseñadas (comprobando tolerancias y comportamientos reales), y erigen la estructura comprobando su estabilidad in situ.

Esta experiencia práctica tiene un gran valor pedagógico, pues confronta al estudiante con las discrepancias que pueden surgir entre el modelo ideal y la realidad (tolerancias de fabricación, imperfecciones del material, secuencia constructiva, etc.), fomentando la resolución de problemas en tiempo real y la capacidad de adaptación. Además, el producto final –la estructura didáctica– funciona como un laboratorio experimental: se le pueden aplicar cargas (colgar pesos, someterla a viento simulado) para observar su respuesta, validar los cálculos teóricos y realizar mediciones, cerrando así el ciclo de realimentación entre teoría y práctica. Este enfoque ha sido implementado con éxito en diversos contextos educativos. Por ejemplo, universidades con programas de “design-build” integran la construcción de instalaciones efímeras en sus cursos de estructuras, logrando que los estudiantes desarrollen un entendimiento más profundo de los principios estructurales al verlos materializados [16].

En iniciativas independientes como Bamboo U (un taller internacional en Bali), participantes de formación variada aprenden sobre arquitectura sostenible construyendo colectivamente cúpulas y pabellones de bambú, guiados por expertos, lo que demuestra el poder de la inmersión práctica para adquirir tanto destrezas técnicas como aprecio por la sostenibilidad. En conclusión, la realización de estructuras didácticas experimentales constituye una estrategia educativa integradora: combina conocimientos teóricos, habilidades técnicas, trabajo colaborativo y reflexión crítica. Al finalizar el proceso, los estudiantes no solo comprenden mejor los sistemas reticulares espaciales, la geometría estructural y las propiedades del bambú, sino que también habrán desarrollado competencias profesionales y una conciencia más clara de los principios de la ingeniería sostenible y la arquitectura eficiente.

N. Metodologías activas: Aprendizaje basado en proyectos (ABP) y Metodología Inglés para propósitos Específicos (ESP)

Destaca el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP). En el ABP, a los estudiantes se les plantea un proyecto realista y desafiante que deben desarrollar integrando múltiples conocimientos, habilidades y creatividad. Esta estrategia encaja perfectamente en la enseñanza de sistemas reticulares espaciales, ya que los alumnos pueden embarcarse en proyectos de diseño y construcción de una estructura reticulada (por ejemplo, un pequeño pabellón de bambú) como medio para aprender los fundamentos teóricos.

El aprendizaje basado en proyectos ofrece varios beneficios: aumenta la motivación al tener un objetivo

tangible, promueve el trabajo en equipo y la resolución colaborativa de problemas, y contextualiza los conceptos teóricos dentro de una aplicación práctica concreta [15]. Por ejemplo, un proyecto académico podría consistir en que los estudiantes diseñen, modelen y fabriquen un módulo de reticulado en bambú, aplicando los conocimientos de geometría estructural (p. ej., disposición tetraédrica), propiedades del material, y criterios de unión seguros. Durante el proceso, los alumnos investigan, iteran diseños en simulaciones, construyen prototipos a escala y los prueban, lo cual refuerza su comprensión de las cargas, apoyos y deformaciones.

La literatura educativa reporta que el ABP desarrolla en los estudiantes habilidades de pensamiento crítico e integración de saberes, preparando profesionales más competentes para la resolución de problemas reales. Además, esta metodología refleja entornos profesionales auténticos, donde los proyectos requieren gestionar recursos, plazos y calidad, con lo que los estudiantes también adquieren experiencia en competencias blandas (comunicación, liderazgo, gestión de proyectos). En síntesis, incorporar el aprendizaje basado en proyectos en la enseñanza de estructuras reticulares permite que los futuros arquitectos e ingenieros aprendan haciendo y creando, afianzando los contenidos académicos a través de la experiencia práctica y la reflexión sobre un proyecto concreto.

Por otra parte, el presente proyecto de investigación se enmarca en esa función de enseñar de una manera alterna y, principalmente, que tenga un doble propósito: aprender inglés y aprender contenido, en este caso, atado a la ingeniería civil. En ese sentido, surge otra forma de aprender que se ajusta mejor al presente proyecto y es ESP, que se traduce como «inglés para propósitos específicos», ya que se hace en un contexto educativo, con una base de aprendizaje de ingeniería civil y se fortalece el inglés a través de las temáticas propias del plan educativo profesional [19].

IV. METODOLOGÍA

Este proyecto se apoya en un estudio de caso con una muestra pequeña de estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad La Gran Colombia, guiado por las metodologías ESP y ABP y centrado en el desarrollo de una cartilla digital interactiva como entregable principal,

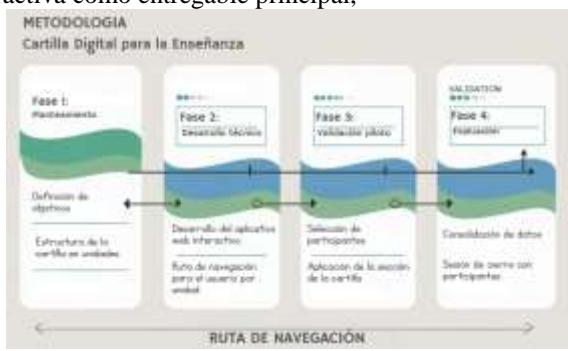


Figura 11 Fases de la metodología

A. Fase 1: Diseño pedagógico y estructuración de la cartilla

Definición de objetivos didácticos

Propósito: Facilitar el aprendizaje de sistemas reticulares espaciales en Ingeniería Civil mediante una cartilla digital en inglés técnico. Metodologías integradas: ESP (English for Specific Purposes) + ABP (Aprendizaje Basado en Proyectos). Competencias desarrolladas: Comprensión estructural, vocabulario técnico, modelado 3D, sostenibilidad.

Unidad 1: Fundamentos de reticulados espaciales

Contenido: Historia, evolución y principios geométricos de estructuras reticuladas. Ejemplo técnico: Domos geodésicos, estructuras trianguladas, referencias a Palladio, Paxton y Fuller.

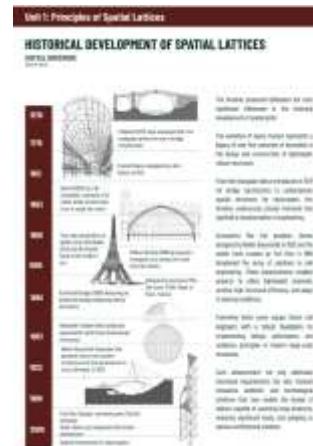


Figura 12 Página de la revista con la Historia de los reticulados espaciales

Unidad 2: Geometría del tetraedro y módulos básicos

Contenido: Sólidos platónicos, triangulación, geometrías mínimas. Ejemplo técnico: Experimentos con películas de jabón, ángulos de 120° y $109^\circ 28'$.

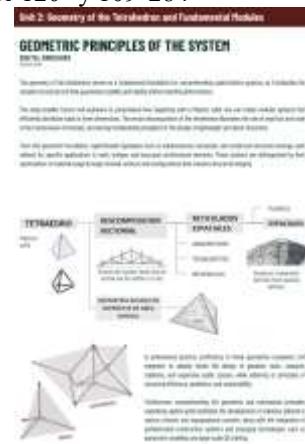


Figura 13 Página de la revista con Geometría del tetraedro y módulos básicos

Unidad 3: Análisis de cargas y comportamientos estructurales

Contenido: Tipos de esfuerzos (tracción, compresión, flexión), hiperestaticidad, apoyos. Ejemplo técnico: Ley de Föppl, análisis nodal, software de elementos finitos.

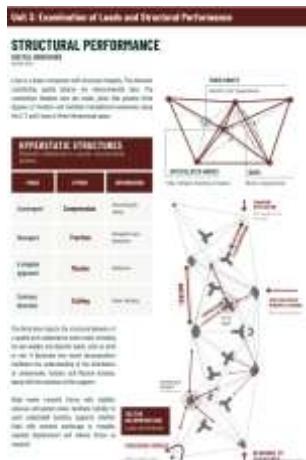


Figura 14 Página de la revista con Análisis de cargas y comportamientos estructurales

Unidad 4: Materiales sostenibles y uniones paramétricas

Contenido: Uso del bambú Chusquea Carrizo, conexiones articuladas, eficiencia estructural. Ejemplo técnico: Propiedades del bambú, diseño modular, criterios de sostenibilidad.

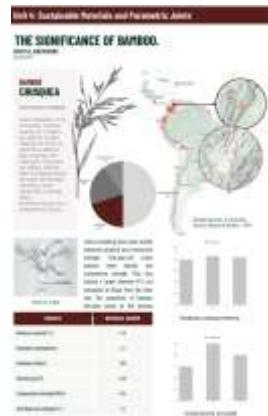


Figura 15 Página de la revista con Materiales sostenibles y uniones paramétricas

Unidad 5: Montaje práctico y evaluación de prototipos

Contenido: Aplicación de conocimientos en prototipos físicos o digitales. Ejemplo técnico: Ensamble de módulos, simulación de cargas, validación estructural.



Figura 16 Página de la revista con un prototipo realizado con IA.

B. Fase 2: Desarrollo técnico y despliegue de la cartilla

Desarrollo del aplicativo web interactivo y Tecnológico: plataforma digital con navegación intuitiva y recursos multimedia.

Planificación del flujo de contenido y Secuencia lógica: de lo conceptual a lo aplicado, respetando la progresión pedagógica. Organización de recursos y componentes: textos, diagramas, videos, ejercicios, enlaces internos.

Diseño de la cartilla e interfaz: visualmente clara, adaptable a dispositivos, con énfasis en accesibilidad.

Enlazado y navegación: la ruta por unidad se puede observar en la figura 17



Figura 17 Página de la revista con las unidades.

Implementación de actividades interactivas: autoevaluaciones, simulaciones, foros de discusión técnica.

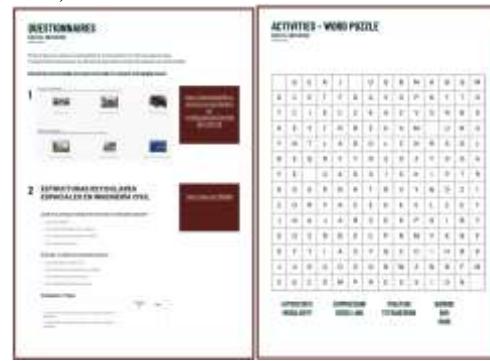


Figura 18 Página de la revista con actividades interactivas.

Integración de diagramas y esquemas: figuras históricas, estructuras trianguladas, apoyos, perfiles estructurales.

Las Fases 3 y 4 serán la base para el siguiente artículo. En la figura 18 se observa la portada de la revista.

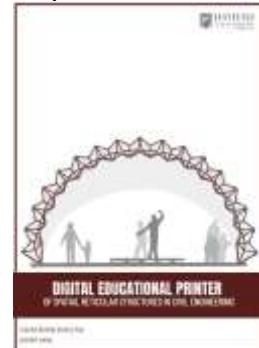


Figura 19 Portada de la revista.

V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La implementación de esta cartilla digital permitió evidenciar que el aprendizaje de estructuras reticulares espaciales en Ingeniería Civil se potencia cuando se integran recursos visuales, interactivos y bilingües. La combinación de teoría, glosarios, videos y ejercicios en una misma plataforma generó un ambiente de aprendizaje más dinámico, donde los estudiantes pudieron relacionar conceptos abstractos como geometrías mínimas, análisis de cargas y materialidad del bambú con aplicaciones prácticas propias de la disciplina. Este enfoque facilitó la transición del conocimiento teórico a escenarios aplicados, mejorando la comprensión de las propiedades estructurales y su pertinencia en el diseño civil. Además, la inclusión del inglés técnico dentro de la propuesta no solo sirvió como herramienta de apoyo lingüístico, sino también como un componente clave para el fortalecimiento de competencias profesionales, dado que el acceso a literatura científica y normativas internacionales exige un dominio del lenguaje especializado.

Por otra parte, la estructura de la cartilla organizada por unidades temáticas, junto con el uso de ejercicios interactivos y espacios de retroalimentación, evidenció que los estudiantes se beneficiaron al construir su aprendizaje de forma activa. Los resultados de la prueba post-sesión y la retroalimentación cualitativa del profesor-tutor confirmaron que este tipo de metodologías contribuyen a superar las limitaciones de la enseñanza expositiva tradicional, motivando a los participantes a experimentar, reflexionar y aplicar lo aprendido en contextos de la vida real.

La experiencia desarrollada muestra que la enseñanza de sistemas reticulares espaciales demanda estrategias innovadoras que combinen recursos pedagógicos digitales con metodologías activas de aprendizaje. La cartilla digital no se limita a ser un documento de consulta, sino que se transforma en un entorno interactivo donde el estudiante participa activamente, explora conceptos de manera autónoma y recibe retroalimentación inmediata. Su carácter digital e integrador facilita la actualización y escalabilidad, permitiendo su uso en distintos cursos y cohortes académicas.

De igual forma, esta propuesta contribuye a consolidar competencias técnicas y lingüísticas simultáneamente, respondiendo a las necesidades actuales de la formación en Ingeniería Civil, que exige tanto dominio del cálculo estructural como habilidades de comunicación en inglés técnico. En conjunto, la cartilla se proyecta como una herramienta académica de alto valor, que favorece la comprensión de los sistemas reticulares y promueve un perfil de ingenieros más competentes, críticos y preparados para afrontar retos en escenarios globales de diseño y construcción.

REFERENCIAS

- [1] Beer, F. P., Johnston, E. R., & Mazurek, D. F. (2014). *Vector mechanics for engineers: Statics* (10.^a ed.). McGraw-Hill. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780073398204>[2]
- [2] Celigueta Lizarza, J. (2008). *Método de los elementos finitos para análisis estructural*. Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Navarra.
- [3] Chilton, J. (2000). *Space grid structures*. Architectural Press. <https://www.routledge.com/Space-Grid-Structures/Chilton/p/book/9780080536845>
- [4] Ching, F. D. K. (2009). *Manual de estructuras ilustrado* (4.^a ed.). Editorial Gustavo Gili. <https://bit.ly/2VDzsIR>
- [5] Chopra, A. K. (2012). *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering* (4.^a ed.). Prentice Hall. <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/dynamics-of-structures/P200000006873>
- [6] Escribano, F., & Valcárcel, F. (1994). *Introducción a la geometría de las estructuras espaciales desplegables de barras*. Universidad de Sevilla. <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/5116>
- [7] Flores, A. G. (1998). *Estructuras espaciales*. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://132.248.9.195/pdbis/264019/Index.html>
- [8] Hibbeler, R. C. (2011). *Engineering mechanics: Statics* (14.^a ed.). Pearson. <https://www.pearson.com/store/p/engineering-mechanics-statics/P100000474680>
- [9] Janssen, J. J. A. (2000). *Building with bamboo: A handbook*. Intermediate Technology Publications.
- [10] Kolarevic, B. (2003). *Architecture in the digital age: Design and manufacturing*. Spon Press. <https://www.routledge.com/Architecture-in-the-Digital-Age-Design-and-Manufacturing/Kolarevic/p/book/9780415292501>
- [11] Otto, F. (1988). *Tensile structures: Design, materials, analysis*. MIT Press. <https://mitpress.mit.edu/9780262061345/tensile-structures/>
- [12] Palladio, A. (1570). *I quattro libri dell'architettura*. Giunti.
- [13] Perles, A. (2009). *Buckminster Fuller y la revolución de la cúpula geodésica*. Ediciones Técnica Industrial
- [14] Pillares, M. (1986). Modulación y desmontabilidad en reticulados espaciales. *Revista de Ingeniería Estructural*, 5(2), 45–52.
- [15] Prince, M. J., & Felder, R. M. (2007). The many faces of inductive teaching and learning. *Journal of College Science Teaching*, 36(5), 14–20. https://doi.org/10.2505/4/jcst07_036_05_14
- [16] Ruiz Valencia, D. M., Magallón Gudiño, J. A., & Muñoz Díaz, E. E. (2006). *Herramientas de aprendizaje activo en las asignaturas de ingeniería estructural* (3.^a ed.). Universidad Nacional. <https://repository.unal.edu.co/handle/unal/>
- [17] Suárez, L., & Pacheco, D. (2014). *Enseñanza de la geometría en superficies mínimas*. Universidad Nacional de Colombia. <http://funes.uniandes.edu.co/8744/1/Pacheco2015Ensenanza.pdf>
- [18] Thompson, J. F. (1999). *Minimal surfaces and their applications*. Cambridge University Press. <https://www.cambridge.org/core/books/minimal-surfaces-and-their-applications/>
- [19] Torres-Sánchez, W. E., & Niño-Molina, M. E. (2021). Plan lector en inglés apoyado en revistas digitales utilizando la metodología ESP para cursos disciplinares de un programa de ingeniería civil. *Revista Virtu@lmente*, 9(2). <https://doi.org/10.21158/2357514x.v9.n2.2021.3212>
- [20] Universidad Católica de Colombia. (2018). *Informe sobre el uso de TIC en la enseñanza de Ingeniería Civil*. U. Católica. <https://bit.ly/ucatolica-tic>
- [21] Wong, W. (1991). *Fundamentos del diseño bidimensional y tridimensional*.
- [22] Zienkiewicz, O. C., & Taylor, R. L. (2000). *The finite element method: Volume 1, The basis* (5.^a ed.). Butterworth-Heinemann Edición Castellana.